

# Los retos de la ingeniería de regadío y la soberanía alimentaria

Hernández Díaz-Ambrona CG, Marín González O

Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems, Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia,  
CEIGRAM, Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano. ETSIA- UPM  
Ciudad Universitaria s/n, E-28040 Madrid (España).  
carlosgregorio.hernandez@upm.es

## Resumen

Uno de los mayores retos a los que se enfrenta la ingeniería agraria es el asegurar el suministro de alimentos en años venideros. Las previsiones hacia el año 2050 son de más de 9000 millones de habitantes, lo que supone, según la FAO, incrementar la producción actual de alimentos entre un 50% y un 70%, y las necesidades de agua en un 30%. La vida surge y se mueve entorno al agua, lo que la convierte en uno de los elementos más preciados de la Tierra. En este trabajo se presentan los retos a los que se enfrenta la producción de alimentos desde el punto de vista de la ingeniería de regadíos y la gestión del agua en la agricultura así como la manera de afrontarlos. El regadío se presenta como herramienta para superar estos retos. Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los nuevos regadíos es la competencia creciente por el agua para el abastecimiento de poblaciones, la producción industrial, el sector servicios y la producción energética. La posibilidad de producir alimentos suficientes minimizando el uso del agua pasa por una mejora en su gestión mediante el desarrollo científico y tecnológico del riego, sin olvidar los aspectos económicos, sociales y de trabajo consiguiendo así un regadío más eficaz. El objetivo final de gestión del agricultor es maximizar la transpiración de agua, ya que está directamente relacionada con la producción, y minimizar la evaporación y la escorrentía relacionadas con la eficiencia del riego. El incremento de la superficie regada aparece como una clara solución al problema de la seguridad alimentaria ya que permite cubrir las necesidades de alimentación sin incrementar la superficie cultivada. No se debe sin embargo olvidar que para un correcto uso del agua se requiere una política hidráulica y de gestión en la unidad de cuenca.

**Palabras clave:** Agua, agricultura, desarrollo, seguridad alimentaria

## Introducción

Asegurar el suministro de alimentos a la tasa de crecimiento de la población actual y mejorar la dieta de una gran parte de la población existente es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la ingeniería agraria actual. Las previsiones hacia el año 2050 son de más de 9000 millones de habitantes, lo que supone según la FAO incrementar la producción actual de alimentos entre un 50% y un 70%. Además la población se concentra en grandes ciudades, que tienen que ser abastecidas de forma constante (Naciones Unidas 2010) y tiende a un mayor consumo de derivados animales que de vegetales. Lo que puede suponer en la situación más pesimista incrementar la producción en 1000 millones de toneladas de granos y unos 200 millones de toneladas de carne. La ONU estima que el aumento en las necesidades de agua será del 30%. El informe de la OCDE (2012a) sobre indicadores ambientales para 2050 ha aumentado las necesidades de suministro de agua para evitar situaciones de inseguridad alimentaria, estima que el 40% de la población mundial estará en cuencas con un alto estrés hídrico.

El agua es uno de los elementos más preciados de la Tierra. La vida surge y se mueve entorno a ella. Las plantas están obligadas a depender de su disponibilidad. Los cultivos, como comunidades de plantas que son, necesitan grandes cantidades de este recurso, el regadío utiliza a nivel mundial el 70% de las aguas reguladas. Así por ejemplo, para producir un kilo de arroz en condiciones adecuadas se necesitan mil litros de agua. Agua transpirada que retorna siempre a la atmósfera. Frente a los dos litros diarios que una persona necesita para beber, están los dos mil litros de agua que han sido utilizados para la producción primaria de su dieta equilibrada. Aunque, basta con una precipitación de 75 litros por metro cuadrado al año de lluvia útil ( $750 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) para que los cultivos proporcionen el alimento necesario de esa persona. La FAO (2007) considera que el límite de pobreza relacionada con el agua se encuentra en una disponibilidad mínima de  $700 \text{ m}^3/\text{persona y año}$ . En Egipto, país que dependen exclusivamente del regadío, la previsión es que en el año 2025 la cantidad de agua per cápita disponible descienda a  $500 \text{ m}^3/\text{persona y año}$  (NWRP 2005). Está bien documentado que el regadío contribuye a paliar el hambre y la pobreza en Asia y África, aunque no en todos los casos se haya

alcanzado éxito (García-Bolaños *et al.* 2011).

En España, el agua de lluvia está mal distribuida, aunque la precipitación media es superior a los 600 mm la diferencia entre el punto más lluvioso y el más seco duplican esa cifra. Además, en el ambiente mediterráneo en el que se engloba la mayor parte de España, la época más favorable para el crecimiento de los cultivos, con temperaturas adecuadas y radiación solar suficiente coincide con la época de menores precipitaciones. Por esas el 70% de los recursos hídricos consuntivos se dedican a la agricultura sobre una superficie de 3,9 millones de hectáreas (22% de la cultivada). Los regadíos en España contribuyen a más del 50 por ciento en la producción final agraria. Las técnicas de riego, su diseño y manejo eficiente, han permitido en algunos casos multiplicar por cinco los rendimientos de los cultivos, contribuyendo netamente a la diversificación de la dieta mediterránea, especialmente en la producción de frutas y hortalizas.

En diciembre de 2003 la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó la Década del Agua “El agua, fuente de vida, 2005-2015” dentro de su programa Decenio Internacional para la Acción con el fin de promover un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos. En Zaragoza se encuentra la Oficina de Naciones Unidas de Apoyo al Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” (más información sobre este programa se puede encontrar en su página web oficial: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>). En 2012 el lema para Día Mundial del Agua que se celebra cada 22 de marzo ha sido “Agua y la Seguridad Alimentaria”, por considerar el agua clave para la seguridad alimentaria, considerando que cerca de mil millones de personas pasan hambre hoy. El desafío constante es conocer cómo el clima actual y su incertidumbre futura, el suelo, la mejora vegetal, el manejo del cultivo y la agronomía en particular pueden ser combinados para mejorar el uso del agua de riego.

Uno de los objetivos fundamentales de la agricultura para tener seguridad alimentaria en cantidad y calidad es la mejora de la eficiencia en el uso del agua tanto en los cultivos de secano como en regadío. Tampoco, debemos olvidar que el cultivo en secano hace un uso del agua de lluvia, que éste uso aumenta en la medida que lo hacen los rendimientos y por tanto reduce la disponibilidad de agua para otras aplicaciones, incluida el agua de riego. En este trabajo presentamos cómo afrontar los retos a los que se enfrenta la producción de alimentos desde la ingeniería de regadíos y la gestión del agua en la agricultura.

## Retos de la agricultura

La agricultura tiene que dar respuesta a los siguientes retos (Hernández, 2009):

- Garantizar la seguridad alimentaria en cantidad, calidad, precio y accesibilidad. Los productos de origen agrario tiene que tener un precio justo: por un lado tiene que ser suficiente para garantizar el nivel de vida de los agricultores y por otro debe ser asequible a toda la población, especialmente a la urbana.

- Aunque el punto anterior tiene implícito lograr la autosuficiencia de los campesinos de las zonas más apartadas, lo destacamos como un punto importante ya que el 50% de los pobres en el mundo son campesinos. Es preciso mejorar los sistemas de producción de esas zonas, mejorando las técnicas tradicionales de cultivo y conservando las variedades locales, social y culturalmente aceptadas. Generar excedentes comercializables e incrementar el comercio interno, es decir local, de la cesta básica de la compra.

- Reducir la variabilidad de las producciones, mejorar las técnicas de producción e incrementar la diversidad de cultivos desde la inversión en investigación en agricultura.

- Prevenir los riesgos medioambientales (sequías, inundaciones, heladas), así como evaluar los efectos que a medio y largo plazo pueden tener los problemas ambientales globales como el cambio climático.

La producción agraria mundial obtiene anualmente una disponibilidad per cápita de 450 kilogramos equivalentes en cereal, que cubriría el 90% de la "*Standard Nutritional Unit*" que es la cantidad suficiente para el abastecimiento de una persona con todo tipo de alimentos con una dieta equilibrada, se incluyen las pérdidas durante el almacenamiento, transporte y la cantidad de semilla necesaria para la siembra de la cosecha siguiente. Dietas obesas, asociadas a formas de vida sedentarias y a la comida con un alto contenido de grasas animales, necesitan más de 800 kilogramos equivalentes de cereal por persona y año, la dieta mediterránea se sitúa en 620 kilogramos. Los vegetales frescos aunque saludables son más difíciles de transportar y de conservar que alimentos más energéticos, por lo que en términos de precio pagado por unidad nutritiva y

energética son mucho más caros. Globalmente, la agricultura actual alimenta una mayor población y lo hace con una superficie cultivada que apenas ha variado, entonces lo hace con una superficie por persona cada vez menor. Dado que una persona, aproximadamente, come lo mismo, este reto se ha conseguido por el aumento de la productividad, y por tanto por la intensificación de la agricultura.

Existen dos fuerzas conductoras que inciden en la demanda de productos de origen agrario: el aumento demográfico y otra el aumento de renta disponible. La presión sobre los sistemas agrarios para intensificar la producción como respuesta al incremento de población ocurre ya en Asia, América Central y Sudamérica, y más lentamente, en África. Europa y en particular España no están todavía tan presionadas, como están China o los países del Sudeste Asiático. Sin embargo, Europa importa cereal (maíz) y leguminosas (soja) de América, aceite de palma (Indonesia) que abaratan los precios de la carne y la leche que consumimos, y que ayuda a alcanzar los objetivos de producción de biocombustibles. Esto implica una importación de tierra y agua "virtual", de nitrógeno, fósforo, potasio (N, P, K), y otros micronutrientes. Si existe impacto ambiental asociado a la producción del grano que importamos, Europa lo genera fuera de sus fronteras. El informe OPERA calcula que la Unión Europea cultiva fuera de sus fronteras 35 millones de hectáreas, cuya producción se destina a la UE-15 (Von Witzke y Noleppa 2010). Tendencia que aumenta por la política de extensificación de la agricultura auspiciada por la Política Agraria Común, lo que genera tensiones en los mercados internacionales (mayor demanda de los países ricos) y provoca desabastecimientos en los mercados de origen por que no pueden competir por precios y demanda.

Los mejores suelos de la Tierra están ya bajo cultivo ocupando cerca de 1500 millones de hectáreas (el 10% de la superficie terrestre). Una ampliación de la superficie cultivada implicaría el cultivo de suelos más fácilmente erosionables o más pobres en nutrientes (por ejemplo parte de las áreas de pastizales que representan en total alrededor de 3500 millones de ha), y también impediría liberar o proteger territorio para los ecosistemas naturales. La cuestión no es baladí entonces hay que elegir entre una agricultura mas intensiva y con más espacios naturales o una agricultura más extensiva y con menos espacios naturales. Es decir responder a la pregunta ¿cuánta superficie queremos

mantener como ecosistemas naturales? La urbanización, la expansión de “superficies artificiales”, en nuestro planeta es la mayor causa de pérdida de suelo agrícola. Por ejemplo, China ha establecido una “La Línea Roja” para no disminuir de 120 millones de hectáreas cultivadas, dado que el abandono del campo supuso en pocos años pasar de 130 millones de hectáreas a 122 millones de hectáreas en 2008 acercándose al mínimo establecido. Lo que le permite mantener la producción en 550 millones de toneladas de grano de cereal. Su producción se complementa con las importaciones, y con lo producido en tierras compradas o arrendadas en otros países, especialmente en África y América. Por todo ello podemos concluir que la superficie regada y por tanto la demanda de agua para riego tiene que aumentar considerablemente para el escenario 2050, por lo que no puede cumplirse la previsión que hace la OCDE (2012b) de descenso de la demanda de agua para riego, si la producción agraria mundial tiene que aumentar entre el 50% y 70% y suponiendo que se mantiene la proporción en la contribución a la producción entre regadío y secano, la demanda de agua tendrá que aumentar en esa misma proporción. La mejora de los sistemas de riego, asumiendo el coste que tiene, puede suponer un ahorro de entre el 10% y 20%.

### **La soberanía alimentaria**

El término soberanía alimentaria se empieza a utilizar para ampliar el de seguridad alimentaria al introducir cualidades de tipo político y de gestión de los alimentos. García de la Serrana-Castillo (2003) lo define como “el derecho de cada pueblo a definir sus propias políticas y estrategias sustentables de producción, distribución y consumo de los alimentos que garanticen una alimentación sana, con base en la pequeña y mediana producción, respetando sus propias culturas y la diversidad de los modos campesinos, pesqueros e indígenas de producción agropecuaria, comercialización y gestión de recursos.” Este paradigma propone un derecho fundamental de los pueblos que debe ser garantizado por los organismos internacionales (Nicholson 2006). Sin embargo, este enfoque que parece proporcionar un marco amplio para la producción de alimentos, se hace sobre una parte del sector agrario dejando a un lado a numerosos agricultores que tienen en esta actividad su trabajo y estilo de vida.

Entonces, la soberanía alimentara es la facultad de cada Estado para definir sus propias políticas agrarias y alimentarias de acuerdo a objetivos de desarrollo sostenible y seguridad alimentaria. Una aplicación con rigor del paradigma de soberanía alimentaria nos lleva a aceptar las políticas agrarias de la Unión Europea o de los Estados unidos como políticas de soberanía alimentaria. La cuestión de la soberanía alimentaria debe tratarse desde una visión global, ya que de lo contrario se estaría restringiendo el desarrollo económico y social a la capacidad de carga del territorio que un pueblo en concreto ocupa. Basta con revisar como el potencial que tienen los sistemas agrarios para la producción de alimentos, Dixon et al. (2001) en su descripción de sistemas agrarios y pobreza destaca que muchas áreas en zonas áridas o subdesérticas tienen escasa capacidad de producir los alimentos para cubrir la demanda que tiene la población que allí vive. Pero el problema no es solo territorial, si no que también se extendida a los medios de producción que necesita la agricultura y en particular el agua, la agricultura de Egipto depende en gran medida de la gestión de los recursos hídricos que hagan otros países en la cabecera del Nilo. Por todo ello, las políticas estrictas de soberanía pueden abrir la caja de pandora por la lucha por los recursos necesarios para la agricultura, principalmente tierra, agua y energía. Los sistemas agrarios están sujetos a una continua evolución y a cambios adaptándose a los cambios que experimenta la sociedad, por lo que es muy difícil determinar cuestiones como lo tradicional o lo autóctono. Los agricultores y campesinos toman decisiones siguiendo muchos criterios que van más allá de los estrictamente ecológicos y de eficiencia. Por lo que el análisis de la sostenibilidad es siempre complejo y depende de los objetivos que se quieren para la agricultura (González et al. 2009).

La historia de la agricultura está estrechamente relacionada a la historia de la humanidad. El abandono de la actividad recolectora por la agricultura es un hecho trascendental que transformó las sociedades primitivas. La agricultura es un sustantivo de género femenino que nos lleva a considerar, como lo han hecho numerosos estudios, que fue la mujer quien introdujo este avance tecnológico. Aunque, los avances fueron lentos en un primer momento, el cultivo aun siendo de forma precaria permitiría el sedentarismo y por tanto la aparición de los primeros asentamientos permanentes. Al mismo tiempo la agricultura comienza a liberar tiempo, menos tiempo para las migraciones, menos tiempo dedicado a



la recolección, pero también con ella aparecen las hambrunas. La disponibilidad de tiempo que permite la agricultura facilita la aparición de otras actividades gremiales. En definitiva la agricultura facilitó la aparición de las primeras ciudades. Algunos autores consideran que con la agricultura sobrevinieron las guerras, estos enfrentamientos territoriales estarían presentes incluso sin agricultura como necesidad de defender el espacio físico que sustenta el alimento o en el caso contrario de apropiárselo. Mas al contrario la actividad agraria y en especial el cultivo de la tierra está relacionado con periodos de paz, los cultivos son muy sensibles o fáciles de saquear por tanto se desarrollan solo si hay seguridad. Por ejemplo, el gran desarrollo que tubo la ganadería en España desde el siglo IX al XV coincidió con los siete siglos de dominación árabe y reconquista, los rebaños a diferencia de los cultivos pueden desplazarse y protegerse de incursiones enemigas, el cultivo simplemente no.

Hay tres teorías que relacionan la caída o regresión de tres grandes imperios con cambios sustanciales en la agricultura. Primero fue el imperio Persa entre los ríos Tigris y Éufrates, cuna del trigo y de las técnicas de riego. El riego continuado con aguas salobres y en condiciones áridas con altas tasas de evapotranspiración se cree que produjo la salinización del suelo cultivable y la disminución paulatina de los rendimientos agrícolas, el imperio no pudo mantenerse y sucumbió ante Alejandro Magno hacia el año 330 a.C. Otro caso, aun discutido, es la caída del imperio Romano y el paso a la edad media en Europa, en este caso debido a cambios en la estructura agraria la desaparición del pequeño y mediano campesino frente al latifundio, quizás una extensificación de la producción agraria. Sin embargo, los ingenieros romanos dominaban las técnicas de captación, regulación, distribución de agua y riego. Las primeras huertas del levante español fueron levantadas por los romanos, algunas de estas técnicas fueron tomadas de los egipcios, ya que su agricultura se basaba en el riego de inundación que proporciona las regulares avenidas del Nilo. Más tarde, la eclosión demográfica de los árabes en un entorno basado en el riego, contribuyo a la mejora de las técnicas y su difusión por todo el mediterráneo. El manejo del agua no era exclusivo de las huertas y se extendió a los cultivos de secano con las técnicas de cosecha de esorrentía. La cosecha de esorrentía consiste en canalizar el agua de esorrentía que se recoge e una zona, normalmente natural y montañosa, y canalizarla hacia los lugares de cultivo. El



agricultor no almacena ni controla el sistema, únicamente dirige el agua de escorrentía al punto de interés. El tercer caso es más reciente en el tiempo, fue la caída del impero Maya, impero que estaba basado en el cultivo de maíz. El maíz hoy es el cultivo para grano más importante, la producción media anual supera los 800 Mt (aplicando la unidad estándar nutricional podría alimentarse al 23% de la población mundial). Las causas de la desaparición del impero Maya son confusas, también diferentes a las anteriores, probablemente debido a un agotamiento de la fertilidad de la tierra. Mientras el manejo del agua tanto de Incas como Aztecas mantuvo estos imperios hasta la llegada de los españoles. El riego desempeñó un importante papel en la intensificación de la agricultura y permitió el crecimiento de la población y la construcción de importantes ciudades, al poder mantener sistemas agrícolas permanentes y estables. En América las zonas de Mesoamérica y los Andes presentaron grandes avances en la captación, canalización y riego, incluso en las zonas tropicales también se encuentran vestigios de rudimentarios sistemas de riego. Se construyen embalses, presas, acueductos, canales, bordes para conservar la humedad, campos hundidos y el riego a mano (Vergara Ruiz, 1993). Las "qochas" son un tipo de campo hundido o pequeño lago artificial que se realizaba para conservar agua, el cultivo se realizaba sobre caballones para evitar el contacto directo de la planta con el agua. La falta del uso de la rueda limitó en algunos casos un mayor uso del agua. Pero también en los Andes a más de 4.500 msnm se encuentran estructuras como los bofedales, pantanos artificiales, que inundaban una zona de pastos para aumentar su crecimiento en la estación seca. También, los campesinos prehispánicos conocían y aplicaban técnicas para reducir la evaporación de agua de los campos cultivados, y por tanto aumentar la eficiencia en el uso del agua de los cultivos: campos hundidos, muretes corta vientos o arboledas. En las zonas de montaña y con excesiva pendiente construían los andenes que permitían el riego por inundación sin pérdidas de agua por escorrentía, en algunos casos y de forma manual con sistemas de palancas elevaban el agua de un canal a otro en el andén superior.

El riego requiere estructuras sociales más desarrolladas. Son obras costosas que generan mucho mantenimiento y conservación. Por lo que aunque en muchos casos se quiera achacar siempre su declive a problemas de tipo ambiental, normalmente por salinización, cabe la duda si el deterioro de los

sistemas se debe a un problema de índole político, por negligencia de los gobernantes, excesivos impuestos, inseguridad o guerras (Watson 1998). Similares problemas se citan en la decadencia del imperio romano de occidente y en el deterioro de sus obras de riego debido a la aparición de los terratenientes, el aumento de los impuestos indirectos, el cambio frecuente de monarcas y finalmente a las invasiones bárbaras. La tecnología desapareció y con ella los cultivos de regadío, no sería hasta la llegada de los árabes a la península ibérica cuando vuelve a florecer la agricultura de regadío en España, que volverá a tener un momento crítico con la reconquista y la expulsión de los judíos. Será en la Edad Moderna cuando se vuelve a considerar la cuestión de los regadíos y se construyan los canales de Castilla y Aragón.

La agricultura y en particular la producción de alimentos es un sector estratégico de las relaciones sociales y políticas. Si al menos tres imperios sucumbieron por crisis agrícolas, no es menos cierto que el manejo de los excedentes agrarios que realizó EEUU durante los años 80 favoreció la caída del comunismo soviético. La falta de alimentos es fuente de inestabilidad, sobre todo en sociedades urbanas dependientes de los campos de cultivo. Hoy, como en el pasado, no estamos exentos de problemas agrícolas que afectan a zonas concretas. Una de estas zonas es la franja que rodea al desierto del Sahara, debido a su expansión y falta de disponibilidad de recursos, principalmente agua, empujan a una gran parte de la población hacia el sur o incluso se ve forzada a la emigración. El problema sobre el agua se agudiza, los emigrantes invierten parte de sus remesas en la construcción de pozos que acentúan la presión sobre los escasos recursos hídricos. Aunque, no debemos descargar esa presión sobre personas que lo único que hacen es luchar por lograr el sustento de cada día. La falta de alternativas a esa agricultura y la falta de inversión y políticas apropiadas son las verdaderas causas del problema.

La agricultura no solo nos proporciona el alimento necesario para vivir, unos directamente y otros a través de animales, sino también otras muchas cosas. La ropa que vestimos es en más del 60% de origen agrario el resto lo hacemos a partir del petróleo o sus derivados y también obtenemos del campo más del 30% de la energía que consume el mundo. La leña ha sido y es todavía una fuente de energía, energía además renovable. El bioetanol y el biodiesel no dejan de ser novedosos productos que apenas nos proporcionan el 1% de la energía que

necesitamos. Si bien el consumo de alimentos es directamente proporcional al número de personas y la constante de proporcionalidad son las 2500 kcal que necesita una persona al día para desarrollar una vida plena. El consumo de energía es más que proporcional y las necesidades de energía dependen del número de personas y del nivel de desarrollo, a más desarrollo más energía. En cualquier caso la agricultura nunca podrá ser una fuente de energía global y su peso disminuirá a medida que el mundo se desarrolle más (Connor y Hernández 2009). Mientras la producción de alimentos no necesariamente tiene o es energéticamente eficiente, y esa ineficiencia se traduce en el precio pagado, la producción de biocombustibles si tiene que ser energéticamente eficientemente por ello no todos los cultivos pueden dedicarse a este fin. Teniendo en cuenta lo dicho, la discusión sobre si los cultivos alimentarios pueden dedicarse o no a biocombustibles no es pertinente, se dedican siempre que haya excedentes. El cultivo de productos no alimentarios alternativos tiene un alto coste de oportunidad, ya que utiliza recursos que podrían emplearse para la producción de cultivos alimentarios. Un cultivo no alimentario detrae recursos necesarios para la producción como son suelo, agua o nutrientes por lo que a todos efectos siempre compete con los alimentarios. Por eso, existen menos riesgos si todos los recursos se dedican a cultivos que puedan abastecer el mercado de los alimentos. El riesgo es el principal elemento de gestión del agricultor, y cultivar todo independientemente del destino final con cultivos alimentarios es menos arriesgado que dividir la tierra entre cultivos alimentarios y no alimentarios. Los biocombustibles aunque con muy poco peso en el consumo energético si pueden jugar un buen papel en el mercado agrícola mundial, como regulador de las sobreproducciones y por tanto de los precios. Su papel es similar al de la energía hidroeléctrica, que hoy se utiliza teniendo en cuenta que siempre se cubran los abastecimientos primero de agua de boca, agua para las industrias y agua para la agricultura. Así ocurre con la agricultura, agricultura para alimentos, para la ganadería, para la fibra textil, y para combustible. Dado que es difícil conseguir eficiencias positivas en agricultura, es decir obtener más energía en el producto que la gastada en su producción, más que producir biocombustibles que requieren ese valor positivo, la agricultura si puede proporcionar la materia prima de los llamados bioproductos obtenidos en biorefinerías como son los plásticos derivados de plantas.

## Agua y cultivos

Las plantas se comportan como conductores muy eficientes del flujo de agua que penetra desde el suelo a través de sus raíces y tallos hasta llegar a las hojas y salir a la atmósfera. Según el tipo de cultivo se necesitan entre 500 y 1000 litros para obtener un kilogramo de trigo o arroz. El agua contenida en los alimentos de la dieta diaria de una persona media es diez veces más que el agua necesaria para otros usos. Estas cifras justifican por si solas que la agricultura sea la actividad que más agua necesita. Por su cantidad el agua es el principal recurso necesario para el cultivo. Para obtener una producción adecuada no solo es preciso disponer de una determinada cantidad de agua sino que ésta debe estar disponible en la cantidad requerida a lo largo del ciclo productivo. Tanto en secano como en regadío la gestión de la disponibilidad del agua es crítica para una agricultura exitosa.

La eficiencia en el uso del agua (o su inversa el agua virtual de un cultivo) depende de factores fisiológicos de la especie, del ambiente y del manejo del cultivo (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*). Así por ejemplo la eficiencia es mayor en aquellas plantas que presentan el mecanismo fotosintético denominado C4, que incluye cultivos tan importantes como el maíz, el sorgo o la caña de azúcar, cultivos que están adaptados a unas condiciones climáticas de tipo tropical y subtropical y por tanto no prosperan en ambientes cuya temperatura media es inferior a 10 °C. Mientras, el cultivo bajo plástico en un invernadero al permitir controlar las principales variables meteorológicas que afectan al cultivo consigue elevar la eficiencia en el uso del agua hasta valores próximos al máximo, dado que durante todo el periodo de cultivo el agricultor controla esas variables para que el crecimiento y desarrollo de la planta se produzcan a sus tasas máximas. Por ejemplo, en el caso del tomate y judías la eficiencia en el uso del agua es casi 3,5 veces mayor que el cultivo al aire libre.

### ---TABLA 1---

Para comprender mejor la importancia del agua en la producción agrícola presentamos dos ejemplos. El primero es la evolución de los rendimientos del trigo en secano, en una escala cronológica que abarca desde 1922 hasta 2009, en dos zonas españolas una en la provincia de Albacete representativa de una

zona semiárida y la otra de la provincia de Lugo representativa de una zona templada húmeda (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*). En esta figura se observa una tendencia inicial decreciente en el rendimiento del trigo hasta el año 1950. Esta tendencia decreciente no se produce de manera lineal sino que existen años donde el rendimiento cae estrepitosamente (variaciones entre 400 kg/ha y 1200 kg/ha), debido a la recurrencia de ciclos secos y lluviosos. A partir de 1950 y coincidiendo con el inicio de llamada revolución verde existe un cambio en la tendencia. A partir de 1950 se observan dos fenómenos: uno que estaría marcado por la línea envolvente de los rendimientos máximos y que es una línea creciente a una tasa de 40 kg/ha y año, los rendimientos del trigo comienzan a aumentar. El otro fenómeno observado es una línea envolvente de los rendimientos mínimos, se aprecian variaciones en el rendimiento en contra de esta tendencia que por lo general coinciden con años de escasez de lluvia u otros factores meteorológicos, a pesar de las mejoras del cultivo, semillas, fertilizantes y maquinaria la falta de lluvia es determinante para que esas mejoras tecnológicas se queden sin efecto. En Lugo en nivel productivo inicial es mayor pero el comportamiento es similar, se observa una tendencia inicial decreciente en el rendimiento del trigo hasta el año 1967. Esta tendencia decreciente al igual que ocurría en la provincia de Albacete no se produce de manera lineal sino que existen años donde el rendimiento cae y otros donde incluso aumenta (1947-1961). A partir de 1967 se produce un cambio en la tendencia, los rendimientos del trigo comienzan a aumentar, aunque algunos años muestran ligeras descensos en el rendimiento que por lo general coinciden con años de escasez de lluvia, sin embargo a diferencia de Albacete no hay una línea de suelo.

---FIGURA 1---

El segundo ejemplo, lo hacemos para el cultivo de maíz en regadío y para los datos de Albacete. La Figura 2 presenta la evolución de rendimientos del maíz en regadío en la provincia de Albacete desde el año 1922 hasta el 2009. Inicialmente se puede observa una tendencia constante, después entre 1922 y 1954 decreciente, a partir de este año se produce un cambio de tendencia, ésta pasa a ser creciente y la tasa de crecimiento es de 243 kg/ha y año. Sin duda las mejoras en las técnicas de riego unido a la aplicación de la revolución verde (fertilizantes, semillas seleccionadas, mejora de maquinaria) lo han hecho

posible. Además, en este caso, el riego permite alcanzar una mayor productividad y disminuye la variabilidad, o el riesgo de tener años hambrunas o falta de suministro de alimentos.

---FIGURA 2---

### **La ingeniería de regadíos**

El consumo regulado de agua en los regadíos españoles es del orden de 24.000 Hm<sup>3</sup> al año. La superficie regada, 3,5 millones de hectáreas, se distribuye entre tres sistemas de riego: Gravedad (45%), aspersión (27%) y localizado (28%). La eficiencia media de la aplicación es del 58%, la dotación bruta media por unidad de superficie es de unos 7000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El regadío se enfrenta a la competencia creciente por el agua para abastecimiento de las poblaciones que tiene derecho prioritario de uso, a la producción industrial, al sector servicios y a la producción de energía eléctrica. Esta competencia presiona hacia la reducción de las dotaciones de riego y en casos extremos llega a suprimir algún regadío. En estos últimos años se ha puesto en marcha desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente el programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua) que incluye el Plan Nacional de Regadíos (PNR) como el Plan Hidrológico Nacional (PHN) entre otros para mejorar el uso del agua en agricultura. La contribución de la ingeniería agronómica y civil está siendo determinante para que con las mismas disponibilidades de agua aumenten los rendimientos y la superficie regada.

La ingeniería de regadíos comienza con los sistemas de captación y distribución de agua. Tradicionalmente son dos las fuentes de agua: superficiales y subterráneas. Las primeras se generan por la escorrentía superficial, suelen dar aguas de alta calidad, aunque dependen de la litología por la que discurren. Para su aprovechamiento pueden o bien almacenarse, mediante la construcción de presas, o derivarse directamente hacia las zonas de cultivo. La posibilidad de utilizar la energía potencial que tiene el agua por una diferencia de cotas permite que su distribución se pueda hacer sin aportar energía o trabajo. La cantidad de agua disponible en esos casos depende de tres factores superficie de la cuenca, la precipitación y el tipo de vegetación. En el caso de las aguas subterráneas la calidad es muy variable, dependiendo de la geología que atraviese el agua y de

la que forme el acuífero, la recarga del acuífero depende del balance de agua y finalmente de la cantidad de agua de drenaje, su uso para riego requiere energía o trabajo para poder llevar el agua a superficie y después distribuirla.

### **Técnicas de riego apropiadas**

El desarrollo científico y tecnológico ofrece oportunidades para que los regantes mejoren la gestión del agua hacia un regadío más eficaz: producir alimentos suficientes con el menor uso de agua. En términos hidrológicos mediante el control del balance hídrico, desde la captación, el almacenamiento y la distribución, en las redes de riego y en las parcelas cultivadas. Bien sea por motivos regulatorios como ha sido el Plan de Modernización de Regadíos en España que ha cambiado riegos de gravedad por riegos a presión, o modificando la rotación hacia cultivos con mayor valor añadido. Numerosos nuevos equipos y técnicas de riego, junto a criterios y programas de explotación cada vez más elaborados, ofrecen mejores medios para el aprovechamiento racional del agua de riego.

El control del balance hídrico se plantea en términos técnicos, se inicia en la elaboración del proyecto de riego, durante su ejecución y durante el manejo del riego. La ecuación de utilidad que aplica el regante es compleja, no solo está definida en términos económicos sino también en términos sociales y de trabajo. El riego no solo supone una labor más sino que incrementa todas ellas, una mayor producción se traduce en un aumento en todas las demás necesidades lo que a veces condiciona los resultados que se esperan. En la actualidad se utiliza un conjunto de indicadores para evaluar el buen funcionamiento de un sistema de riegos (Clemmens y Molden 2007), en términos de suministro de agua y balance hídrico, producción, sistema de suministro de agua, uniformidad del riego o demanda de trabajo.

Gómez-Macpherson et al. (2011) han identificado una espiral de degradación de los sistemas de riego en Mauritania, un país donde su agricultura se concentra a lo largo del río Senegal en condicionada por recurrentes sequías, sin embargo dos tercios de la superficie bajo riego se ha abandonado, entre las causas de ese abandono cita que el incremento de productividad de los cultivos propuestos para el riego (en este caso arroz) genera poca rentabilidad y absorbe una gran



mano de obra, el rendimiento obtenido no alcanza el proyectado debido a que los agricultores tienen escaso acceso a semillas mejoradas, fertilizantes, fitosanitarios y maquinaria. Connor et al. (2008) plantean un problema similar también en Mauritania, las familias que producen sorgo con alto valor comercial (150 Unidades Monetarias/kg) lo consumen en vez de venderlo y comprar cultivos más baratos como el arroz (60 Unidades Monetarias/kg). Esa espiral de abandono se traduce en una espiral de pobreza y hambruna ya que los cultivos de secano no son capaces de cubrir las necesidades de alimento de la población (Connor et al. 2008). Este problema se extiende por todo el África Subsahariana (García-Bolaños et al. 2011).

En zonas de montaña de Nicaragua bajo un clima tropical seco hemos encontrado que las eficiencias obtenidas (relación entre la evapotranspiración del cultivo y el agua de riego aplicada) para cualquier sistema de riego son más bajas que los valores orientativos (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*). En lo referente al sistema de riego por inundación hay que indicar que algunos regantes obtienen buenas eficiencias con este sistema (por encima del 70%) lo que indica que bien manejado puede ser igualmente aceptable. La principal desventaja de este sistema es que requiere un mayor trabajo y esfuerzo por parte del agricultor, mientras que con riego por aspersión o inundación el tiempo que se necesita es mucho menor. Respecto al riego por goteo sus ventajas son el ahorro de agua y tiempo. Si tenemos en cuenta que los agricultores, en esta zona, no pagan ningún canon por el agua que usan directamente de pozos o del río, no es en el ahorro del agua en el que los agricultores sienten un beneficio directo. Sin embargo, el hecho de no tener que dedicarle tantas horas al riego sí es percibido como una ventaja. Sin embargo, los sistemas de goteo y aspersión son abandonados por los agricultores debido a la falta de mantenimiento de los equipos de bombeo y distribución de agua. Los proyectos realizados para pasar de sistemas de riego de gravedad a goteo en esta zona no han tenido mucho éxito, debido a la gran cantidad de problemas surgidos (falta de repuestos y energía para el bombeo) de tal manera que son muchos los agricultores que mantienen parte o toda su producción por inundación. Las eficiencias son menores en la parte alta de la cuenca que en la parte baja, debido a la orografía del terreno, que presenta mayores pendientes y por lo tanto mayores pérdidas por escorrentía.

### ---TABLA 2---

Terrenos con cierta pendiente son adecuados para la cosecha de escorrentía. La cosecha de escorrentía aunque en sentido estricto no es considerado como riego si creemos que es la transición de una agricultura estricta de lluvia a una en la cual se regulo el aporte de agua al cultivo garantizándole el mínimo necesario para obtener rendimiento.

Otro sistema que seguirá teniendo un gran peso en las nuevas zonas de riego en agricultura campesina es el riego por inundación. Entre sus ventajas destacamos las siguientes: 1) no requiere un uso de energía para mover el agua (mientras no haya que obtenerla de pozos), 2) no requiere de materiales sofisticados para su aplicación y 3) es intensivo en el uso de mano de obra, por lo que está asociado a la agricultura campesina o familiar. El riego por inundación por derivación de corrientes superficiales: aunque se trata de riegos de baja eficiencia en el uso de agua son muy fáciles de implementar en comunidades rurales y un buen inicio en el cambio de cultura de temporal a regada. La elección entre los sistemas de riego: Inundación, aspersión y goteo debe hacerse con múltiples criterios ya que la eficiencia teórica del sistema por sí sola no es buen criterio (Tabla 3). Aspectos tales como inversión necesaria para la puesta en marcha y funcionamiento, la cantidad de trabajo que generan al agricultor, la cantidad de energía que requiere para su funcionamiento, el precio o la disponibilidad de agua, la calidad del agua y fracción de lavado necesaria para mantener la calidad del suelo o el precio del agua son criterios que deben valorarse en cada proyecto.

### ---TABLA 3---

Otra opción para mejorar las eficiencias y productividad es el empleo de cultivos de alta eficiencia en el uso del agua. Tomado los datos de eficiencia de la transpiración ajustada al déficit de presión de vapor (sequedad ambiental) recopilados por Connor et al. (2011) en el orden de preferencia sería el siguiente Cultivos más eficientes en el uso del agua: sorgo > caña de azúcar > maíz > mijo > patata > cebada = trigo > remolacha azucarera > girasol > soja > cacahuete > algodón > guisante = garbanzo > avena > arroz > habas. La elección de un cultivo por razón de eficiencia queda limitada por las cualidades alimentarias y culinarias, caso muy evidente en todo el mundo del arroz, más de 80 Mha regadas, sin entrar en detalle todo el arroz se dedica a alimentación humana,

cumple dos cualidades para tal fin la facilidad de almacenamiento con una mínima manipulación en el descascarillado y ser extraordinarias cualidades culinarias (rápida cocción).

La India tiene en riego 66 millones de hectáreas (40% de la superficie cultivada) para datos de 2008. La distribución de los sistemas de riego empleados en la India eran en 2004: 62 Mha por superficie, 1,5 Mha por aspersión y otro 0,5 Mha por goteo. Mientras las nuevas actuaciones se inclinan por los dos últimos las posibilidades de ahorro con sistemas de superficie modernos podrían ahorrar entre un 10%-20% de la demanda actual que podrí destinarse a regar nuevas superficies. Esta situación es común a la mayoría de los países en desarrollo.

## **Conclusiones y recomendaciones**

El riego supone un uso diferido del recurso agua en la explotación agrícola para conseguir las mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos. El riego no es exclusivo de las zonas áridas, donde si es condición necesaria para el cultivo, el riego es una herramienta de gestión agronómica ya que permite disponer del agua según las necesidades de transpiración del cultivo. El objetivo de gestión del agricultor es maximizar la transpiración de agua, ya que está directamente relacionada con la producción, y minimizar la evaporación. El ahorro del agua esta relacionado con el coste directo (bombeo, distribución y trabajo) o indirecto (canon) que genera el riego. El incremento de la superficie regada permite cubrir las necesidades de alimentación sin incrementar la superficie cultivada.

El agua es un bien común de toda la humanidad, por lo que su gestión debe ser compartida y gestionada en la unidad de cuenca. Por lo que se necesitan mecanismos supranacionales para la gestión de cuencas compartidas por países o regiones. El Agua requiere una política hidráulica y de gestión. El G-20 recomienda (G20 2012) que la política hidráulica debe: 1) crear incentivos para que los agricultores sepan el valor del agua y el coste de la polución; 2) invertir en infraestructuras para que los adoptar sistemas y prácticas agrícolas más eficientes mayor eficiencia. 3) Innovación para mejorar el manejo del agua en agricultura. 4) Fortalecer las instituciones y la gobernanza, para apoyar los esfuerzos mejorando la seguridad alimentaria y del agua, y 5) construir la resiliencia, para hacer frente a las proyecciones a largo plazo sobre la seguridad

alimentaria y del agua.

La política hidráulica requiere planificación a medio y largo plazo por lo que es necesario hacer buenas proyecciones sobre la futura demanda de agua, especialmente de agua para riego. En este sentido la demanda de agua de riego tendrá que aumentar del orden del 50% para cubrir las necesidades de alimentos de 9000 millones de habitantes en 2050.

## **Agradecimientos**

A la organización del I Simposio Agroecología y Gobernanza del Agua. Al programa de Formación del Profesorado Universitarios (FPU) del Ministerio de Educación por la Beca a Omar Marín González. Este trabajo se ha realizado parcialmente en el CEIGRAM y en el Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano de la Universidad Politécnica de Madrid, y en el consorcio AGRISOST de la Comunidad de Madrid S-2009/AGR-1630 Sistemas Agrarios Sostenibles: producción de biomasa y manejo de C, N y agua.

## **Referencias**

- Clemmens AJ, Molden DJ. 2006. Water uses and productivity of irrigation systems. *Irrigation Science* 25, 247-261.
- Connor DJ, Loomis RS, Cassman KG. 2011. *Crop Ecology: Productivity and management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, London.
- Connor DJ, Comas J, Gómez Macpherson H, Mateos L. 2008. Impact of small-holder irrigation on the agricultural production, food supply and economic prosperity of a representative village beside the Senegal River, Mauritania. *Agricultural Systems* 96, 1-15.
- Connor DJ, Hernández CG. 2009. Crops for Biofuel: Current Status and Prospects for the Future. En RW Howarth, S Bringezu (Eds) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Cornell University, Ithaca NY, USA. 65-80.
- Dixon J, Gulliver A, Gibbon D. 2001. *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza*. FAO y banco Mundial, Roma. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/y1860s/y1860s00.pdf> [Cosultada 28 mayo 2012]
- FAO 2007. Coping with water scarcity, challenge of the twenty- first century, world water day 22, March, FAO, Roma. <http://www.Worldwaterday07.org> [Cosultada 28 mayo 2012]
- Fernandez MD, Gallardo M, Bonachela S, Orgaz F, Fereres E. 2000. Crop coefficients of a pepper crop grown in plastic greenhouses in Almería. *Acta Horticulturae* 537, 461-469.

- G20. 2012. Sustainable agricultural productivity growth and bridging the gap for small family farms. Interagency Report to the Mexican G20 Presidency, 5 April 2012, Mexico.
- García-Bolaños M, Borgia C, Poblador N, Dia M, Seyid OVM, Mateos L. 2011. Performance assessment of small irrigation schemes along the Mauritanian banks of the Senegal River. *Agricultural Water Management*, 98, 1141-1152.
- Gómez-Macpherson H, Comas J, Mateos L, García-Ponce E, Borgia C, Diallo O, Djibril M, Baba C, Moctar I, Dia M, Bousso A, Ould M.Vadel S, Yahya S, García-Bolaños M, Porcel O, Mathieu B, Poblador N, Carmona I, Ould Talhatta I, Connor D. 2011. El papel de la investigación para identificar oportunidades de mejora del regadío en Mauritania. En: A. Moreno, H Gómez-Macpherson, CG Hernández (Eds) *Actas Investigación en agricultura para el desarrollo*, Editorial Agrícola Española, Madrid, 44- 45.
- González C, Díaz-Ambrona CGH, Postigo JL. 2009. Evaluación de la sostenibilidad agraria. El caso de La Concordia (Nicaragua). *Ingeniería sin fronteras Asociación para el Desarrollo*, Madrid.
- Hernández CG. 2009. Técnicas agrícolas para la producción agraria sostenible. En: C Merchán, HL Senovill, *Nuevos retos para el derecho a la alimentación*, Reflexiones en torno al derecho a la alimentación. Prosalus, Cáritas Española e Ingeniería Sin Fronteras, Madrid, 72-79.  
<http://www.derechoalimentacion.org/gestioncontenidosKWDERECHO/imgsvr/publicacion/es/doc/Libro%202009.pdf> [Consultada 28 mayo 2012]
- Ministerio de Agricultura. 2012. Anuario de estadística (desde 1922 a 2009). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.  
<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/default.aspx> [Consultada 28 mayo 2012]
- Naciones Unidas. 2010. *World Urbanization Prospects*. Naciones Unidas, Nueva York.  
<http://esa.un.org/unup/index.asp> [Consultada 28 mayo 2012]
- Nicholson P. 2006. La soberanía alimentaria como derecho de los pueblos. Nuevas exigencias y retos para los actores de la cooperación. En: F Fernández Such (Ed) *Soberanía alimentaria*. Icaria, Barcelona, 83-100.
- NWRP 2005. *National water resources plan 2017*. Ministry of Water Resources and Irrigation, Cairo.
- OECD 2012a, *OECD Environmental Outlook to 2050*, Paris, France.
- OECD 2012b. *Water Quality and Agriculture: Meeting the Policy Challenge*, Paris, France.

- Vergara Ruiz R. 1993. El manejo de cultivos en la época prehispánica y su vigencia: el caso de Colombia. En: M Ardón Mejía (Ed) Agricultura prehispánica y colonial. Guaymuras, Tegucigalpa, Honduras, 15-82.
- Watson AM. 1998. Innovaciones en la agricultura en los primeros tiempos del mundo islámico. Universidad de Granada, Granada.